

MODEL MATEMATIKA ADSORPSI ZEOLIT ALAM TERHADAP ION Zn PADA AIR LIMBAH ELEKTROPLATING

Pujiastuti,C, Adi Saputro,E

Jurusan Teknik Kimia Fakultas teknologi Industri UPN "Veteran" Jatim
e-mail : eadiss@yahoo.com

Abstrak

Air limbah industri elektroplating mengandung berbagai jenis ion logam yang berbahaya bagi lingkungan, misalnya Seng dan Nikel. Konsentrasi ion logam berat tersebut dapat berada di atas nilai Baku Mutu kualitas air limbah, maka perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan.

Pada penelitian ini, pengolahan air limbah industri elektroplating dilakukan dengan menggunakan zeolit sebagai adsorbent ion logam Zn. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tangki berpengaduk.

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan persamaan matematika Langmuir dan Freundlich daya serap zeolit terhadap ion Zn. Kondisi yang ditetapkan : volume limbah 200ml, putaran pengaduk 100 rpm. Sedangkan peubah yang dilakukan : Ukuran zeolit, waktu pengadukan dan berat zeolit. Air limbah bersama zeolit diaduk dengan dalam waktu tertentu kemudian disaring, filtratnya dianalisa kandungan ion Zn nya. Konsentrasi awal dari air limbah (Zn^{2+}) adalah: 113,37 mg/l.

Persamaan yang didapat dalam penelitian ini untuk ukuran zeolit 40 mesh adalah sebagai berikut :

Persamaan Freundlich : $\ln (x/m) = 0,3268 \ln c - 0,8284$, dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9262$. Sedangkan persamaan Langmuir yang didapatkan adalah : $\frac{C}{(x/m)} = -25,485 C + 169,24$

dengan $R^2 = 0,99$. Berdasarkan persamaan diatas dapat dihitung kebutuhan zeolit untuk menurunkan kandungan Zn dalam air limbah elektroplating sampai konsentrasi yang diinginkan.

Kata kunci : zeolit, limbah electroplating, adsorpsi, ion Zn

Abstract

Waste Water of electroplating industry contains various dangerous metal ion which are dangerous for environment, for example Zinc and Nickel. The concentration of those heavy metal ion can exceed quality standard value of waste water, therefore it needs to be processed before released to environment.

In this research, processing of Waste Water of electroplating industry was done by using zeolite as metal ion adsorbent of Zn. This Research was done by using baffle tank.

The purpose of this research was to get mathematics equation of Langmuir and of Freundlich zeolite absorption to Zn ion.. Specified conditions : waste water volume 200ml, baffle rotation 100 rpm. with variable done were : Zeolite size, sweeper time and zeolite weight. Waste water with zeolite were swirled during certain time; then filtered and the content of Zn ion of the filtrate was analyzed. Early Concentration from waste water (Zn^{2+}) is : 113,37 mg / l

Equation acquire in this research for zeolite size 40 mesh were as follows :

Freundlich equation : $\ln (x/m) = 0,3268 \ln c - 0,8284$, with correlation coefficient of $R^2 = 0,9262$. While Langmuir equation was :

$\frac{C}{(x/m)} = -25,485 C + 169,24$ with $R^2 = 0,99$. Based on equation above, zeolite requirement for

reducing the content of Zn in electroplating waste water can be calculated, to the wanted concentration

Keyword : zeolite, waste of electroplating, adsorption, Zn ion

PENDAHULUAN

Berdasarkan surat keputusan Gubernur Jawa Timur No.45 tahun 2002, tentang Baku Mutu air Limbah Industri, telah ditetapkan Baku Mutu Air Limbah untuk industri electroplating adalah 1,0 mg /Liter untuk nikel (Ni^{2+}) dan Seng (Zn^{2+}). Sedangkan kualitas air limbah electroplating yang diperoleh dari suatu industri di Jawa Timur mempunyai konsentrasi 300 -500 mg / liter untuk nikel (Ni^{2+}) dan 2-5 mg / Liter untuk Seng (Zn^{2+}). Mengacu pada kualitas air limbah industri electroplating dan baku mutu air limbah industri yang ditetapkan pemerintah daerah Jawa Timur, maka air limbah industri electroplating tersebut harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dialirkan ke sungai.

Beberapa penelitian yang telah dilaksanakan berkaitan dengan limbah electroplating diantaranya seperti diuraikan di bawah ini.

Pujiastuti, dkk (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh pH terhadap penyerapan logam Zn dan Ni dalam air limbah electroplating oleh sekam padi. Didapatkan kondisi terbaik yaitu pada pH 8 dengan waktu pengadukan 90 menit, dimana prosen penyerapan untuk Zn sebesar 99,54 % dan untuk Ni 88,41 %. Limbah yang akan diturunkan dalam penelitian ini terutama ditekankan pada penurunan logam sebagai berikut :

1. LOGAM SENG (ZINC – Zn)

Seng adalah logam dengan nomor atom 30, berat atom 65,38, titik lebur 420°C , titik didih 907°C , jari –jari atom $1,25 \text{ \AA}$, jari –jari ion $\text{Zn}^{++} 0,74 \text{ \AA}$. Seng merupakan logam transisi (golongan II B) yang mempunyai ciri fisik yaitu : getas, putih kebiruan dan kekerasan 2,5 skala Mohr. Seng digunakan untuk menggalvanisasi besi, logam – logam paduan seperti kuningan dan lain-lain.(Arsyad, 2001)

2. LOGAM NIKEL (Ni)

Nikel adalah logam dengan nomor atom 28, berat atom 58,69. Nikel merupakan logam transisi (golongan VIII B) yang mempunyai ciri fisik yaitu warna keperakan atau berupa logam hitam yang piroforik, feromagnetik, larut dalam HNO_3 encer, dan dipasifkan dalam HNO_3 pekat. Nikel digunakan untuk pembuatan cawan atau elektroda –elektroda yang dapat dipakai sebagai konduktor, katalis pada hidrogenasi alkena misalnya : pembuatan margarin pada pembekuan minyak dan logam paduan untuk membuat uang logam. (Arsyad,2001)

Limbah padat electroplating dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan batubata merah (Pujiastuti,dkk 2002).Dengan penambahan limbah padat dari industri electroplating pada bahan batubata merah mampu mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh adanya ion Ni dan Cr. Kuat tekan batubata merah yang dihasilkan memenuhi kualitas standar SII yaitu kualitas I dengan kuat tekan lebih dari 100 kg/cm^2 .

Pengolahan limbah cair electroplating yang mempunyai konsentrasi Zn 1,6 ppm dan Ni 236,20 ppm dengan Zeolith ukuran 60 mesh dan waktu pengadukan 90 menit mampu menurunkan kandungan logam Zn sebesar 85,63 % , kandungan Ni mengalami penurunan sebesar 57,06 %. (Pujiastuti dkk, 2005).

Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu fenomena permukaan, tempat terjadinya akumulasi antar muka (interphase) dari dua fasa yang berinteraksi. Dengan kata lain adsorpsi merupakan peristiwa pengikatan molekul zat dari suatu fluida baik dalam bentuk cair maupun gas ke permukaan partikel padat. (Samuel H. Maron and Lando, 1990) Secara umum adsorpsi dapat diartikan sebagai peristiwa fisika pada permukaan suatu bahan yang tergantung dari afinitas antara adsorbent dengan adsorbat.

Menurut Treyball (1981) terdapat dua tipe adsorpsi, yaitu adsorpsi fisis dan adsorpsi kimia.

Adsorpsi Fisika

Adsorpsi jenis ini mekanismenya hampir sama dengan proses kondensasi. Adsorpsi fisis atau adsorpsi Van der Waals merupakan gaya tarik menarik antar molekul benda padat dengan zat yang diserap.

Adsorpsi fisika ini dapat terjadi pada semua interface solid – fluid, tetapi jika fluida tersebut tidak mendekati atau dibawah dew pointnya atau solidnya tidak sangat porous penuh dengan kapiler – kapiler yang halus. Maka adsorpsi fisika diabaikan. (Smith. J. M, 1981).

Adsorpsi kimia

Menurut Treyball (1981) pertukaran ion merupakan salah satu bentuk adsorpsi kimia, dimana terjadi pertukaran antara elektrolit dalam padatan dengan elektrolit dalam limbah. Adsorpsi ini melibatkan gaya – gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Menurut Langmuir molekul – molekul yang teradsorpsi tertarik ke permukaan oleh gaya – gaya valensi seperti halnya yang sering terjadi antara atom – atom di dalam molekul. Adsorpsi ini

membentuk molekul –molekul yang baru dan prosesnya irreversibel. Ada 2 macam adsorpsi kimia, yaitu :

a. Adsorpsi kimia aktivasi

Adsorpsi yang energi aktivitasnya mendekati nol sehingga terjadi sangat cepat.

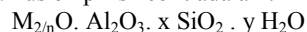
b. Adsorpsi kimia dengan aktivasi

Laju reaksi tergantung energi aktivasi dengan suhu tertentu.

Zeolit

Zeolit berupa material dengan pori – pori sangat kecil yang mampu memuat molekul – molekul kecil, disebut sebagai *molecular sieve*. Zeolit didapatkan dari alam atau diperoleh secara sintesis. Zeolit banyak digunakan sebagai adsorbent dan keunggulan dari molecular sieve adalah untuk proses pemisahan. Sifat spesifik dari zeolit banyak dimanfaatkan sebagai penukar ion (ion – exchange) dan dikembangkan sebagai pendukung atau sebagai bahan dasar katalis.

Struktur zeolit sesuai dengan kerangka tiga dimensi tetrahedral dari SiO_4 dan AlO_4 yang saling berhubungan melalui atom O pada struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} . Rumus empiris zeolit adalah :



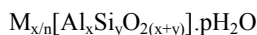
Dimana : M = Kation alkali atau alkali tanah.

N = Valensi logam alkali.

x = Konstanta (2 s/d 10).

y = Konstanta (2 s/d 7).

Secara umum rumus kimia zeolit dapat dituliskan sebagai berikut, (Tsitsishvili *et. al*, 1992) :

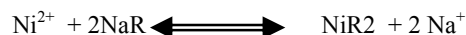
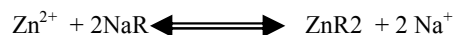


Dimana n adalah valensi kation M, p adalah jumlah molekul air tiap satuan sel, nilai y/x adalah 1 sampai 6 dan nilai p/x adalah 1 sampai 4. Struktur zeolit berbentuk tetrahedral (tiga dimensi), di dalamnya terdapat pori atau ruang kosong yang dapat dilewati, dimasuki atau ditempati oleh berbagai molekul yang tergantung pada ukuran molekul dan ukuran pori zeolit serta interaksi antara molekul dengan permukaan pori zeolit. Jenis zeolit bermacam-macam dan pada umumnya dibedakan berdasarkan kerangka dalam tiga dimensi dan rasio Si/Al. Dimana semakin besar harga Si, maka gaya negatifnya akan semakin turun sehingga Kapasitas Pertukaran Kation (KPK) akan turun.

Mekanisme adsorpsi ion logam berat pada zeolit :

Pada proses adsorpsi dengan zeolith akan terjadi pertukaran ion antara ion Na (Na^+) yang ada dalam padatan dan Na-EDTA dengan ion logam (Zn^{2+} dan Ni^{2+}) yang ada dalam

limbah cair elektroplating sesuai dengan reaksi sbb :



Dimana R menunjukkan bahan residual zeolit. Pada kondisi ini air limbah elektroplating yang mengandung Zn^{2+} dan Ni^{2+} dapat dikurangi kandungannya jika dikontakkan dengan zeolith, sehingga Na dalam zeolith akan digantikan oleh logam-logam tersebut.

Adsorpsi Isothermal

Adalah adsorpsi dengan konsentrasi fase terserap dalam bulk liquid. Kajian adsorpsi dapat lebih mudah diamati pada kondisi yang isotherm (suhu konstan). Dalam proses adsorpsi yang menjadi kajian adalah berapa jumlah bahan penyerap yang diperlukan perjumlah air limbah yang akan diolah. Persamaan yang sering digunakan untuk mendeskripsikan adsorpsi isothermis adalah : isotherm Langmuir, isotherm Freundlich dan isotherm BET (Brunaur, Emmet, Teller).

Model persamaan Freundlich dan Langmuir yang paling sering digunakan untuk pengolahan air limbah.

a. Isotherm Langmuir

Model ini pertama kali dikembangkan untuk proses penyerapan gas pada permukaan padat. Langmuir menganggap permukaan suatu zat padat terdiri dari ruang elementer yang masing-masing dapat mengadsorpsi satu molekul gas dan adanya molekul gas pada satu ruang tidak akan mempengaruhi sifat ruang yang ada didekatnya. Model ini dibuat berdasarkan beberapa asumsi :

- Adsorpsi maksimum yang terjadi saat monolayer yang menyeluruh.
- Besarnya energi adalah konstan dan tidak tergantung pada sifat permukaannya.
- Adsorpsi terjadi tanpa disertai interaksi antar molekul-molekul adsorbat.

Oleh (Metcalf & Eddy, 1991) persamaan

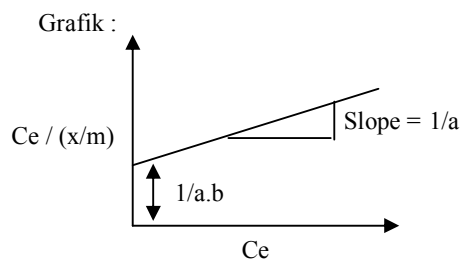
Langmuir pada system padat-cair dirumuskan dengan :

$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot b \cdot Ce}{1 + b \cdot Ce} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi :

$$\frac{(x / m)}{Ce} = \frac{a \cdot b}{1 + b \cdot Ce} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{Ce}{(x / m)} = \frac{1}{a \cdot b} + \frac{1}{a} Ce \quad \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 1. Hubungan antara $Ce/(x/m)$ dan Konsentrasi kesetimbangan (Ce)

b. Isotherm Freundlich

Persamaan ini berlaku umum dan sangat memuaskan jika diterapkan pada larutan encer. Pada sistem padat-cair dapat dirumuskan dengan (Metcalf & Eddy, 1991):

Persamaan :

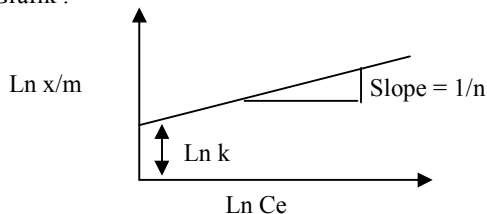
$$\frac{x}{m} = k C_e^{1/n} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi :

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \log C_e^{1/n} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\ln \frac{x}{m} = \ln k + 1/n \ln C_e \quad \dots\dots\dots(7)$$

Grafik :



Gambar 2: Hubungan antara $\ln (x/m)$ dan $\ln Ce$

Keterangan :

x / m = jumlah polutan yang terserap perberat media penyerap

C_o = banyaknya polutan awal

C_e = konsentrasi kesetimbangan polutan setelah teradsorpsi

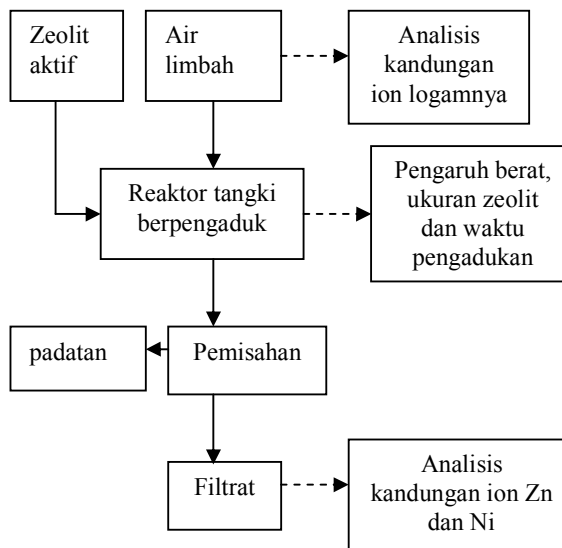
$a,b,$ = konstanta empiris isotherm Langmuir

k,n = konstanta empiris Freundlich

METODE PENELITIAN

Sebelum digunakan zeolit dihaluskan dulu sesuai dengan peubah yang dijalankan. Kemudian dicuci dengan aquadest selanjutnya diaktifkan dengan cara direndam dalam larutan NaCl 1 N dengan perbandingan 1gr zeolit dalam 10 ml larutan selama 48 jam .Setelah itu dipisahkan , zeolit dikeringkan dan siap digunakan

Mekanisme penelitian digambarkan dalam bagan berikut:



Kondisi yang ditetapkan dalam penelitian ini :
 Volume limbah 200 ml, putaran pengaduk 100 rpm.Sedangkan peubah yang dijalankan :
 Berat zeolit (gram) : 5,10,15,20,25
 Ukuran zeolit (mesh): 20,30,40,50,60
 Waktu (menit):15,30,45,60,75,90

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Zeolit yang dipakai mengandung : Fe= 0,06404 mg/g , Mn= 0,00144 mg/g ,Na= 1,11416 mg/g, Ca=1,30852 mg/g, Mg= 0,6089 mg/g.

Sedangkan air limbah yang digunakan mempunyai konsentrasi Ion Ni 25,38 mg/l dan ion Zn 113,37 mg/l.

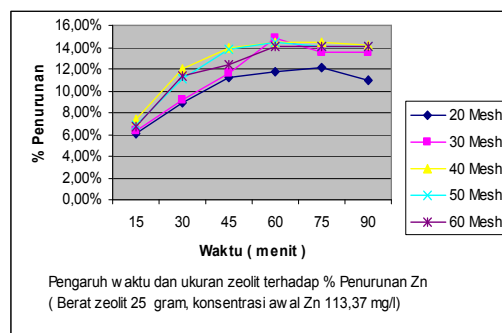
Dari peubah berat yang dikerjakan (5,10,15,20,25 gram) , ternyata berat zeolit 25 gram mampu menurunkan konsentrasi ion logam (Zn dan Ni) yang paling besar.

Tabel 1. Pengaruh Waktu pengadukan dan ukuran zeolit terhadap konsentrasi akhir ion Zn dan Ni (berat zeolit 25 gram , konsentrasi awal Ni = 25,78mg/l dan Zn =113,37 mg/l)

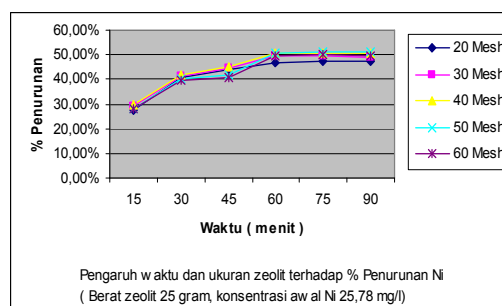
Waktu (menit)	Ukuran Partikel	Konsentrasi akhir (mg/l)	
		Ni	Zn
15	Limbah Awal	25,78	113,370
	20 Mesh	18,65	106,400
	30 Mesh	18,19	106,280
	40 Mesh	18,06	105,120
	50 Mesh	18,54	105,600
	60 Mesh	18,56	105,800
30	20 Mesh	15,26	103,300
	30 Mesh	15,14	103,080
	40 Mesh	15,02	99,800
	50 Mesh	15,36	100,800
	60 Mesh	15,49	100,600
45	20 Mesh	14,48	100,700
	30 Mesh	14,26	100,200
	40 Mesh	14,07	97,590
	50 Mesh	14,92	97,710
60	60 Mesh	15,26	99,300
	20 Mesh	13,08	100,900
	30 Mesh	13,86	98,650
	40 Mesh	12,61	96,350
	50 Mesh	12,77	98,200
75	60 Mesh	12,97	100,400
	20 Mesh	13,53	99,70
	30 Mesh	13,05	98,10
	40 Mesh	12,69	97,10
90	50 Mesh	12,62	97,34
	60 Mesh	12,88	97,40
	20 Mesh	13,57	100,88
	30 Mesh	13,12	98,00
	40 Mesh	12,69	97,31
	50 Mesh	12,63	97,44
	60 Mesh	12,93	97,37

Dari tabel 1. terlihat makin lama waktu pengadukan (pada kisaran 15-60 menit) konsentrasi akhir ion logam makin kecil , karena makin lama waktu kontak antara zeolit dan air limbah , ion yang terserap makin banyak, sehingga dilihat prosentase penurunannya makin besar. Setelah 60 menit konsentrasi hampir konstan , hali ini disebabkan zeolit mulai jenuh. Makin kecil ukuran zeolit (kisaran 20-40 mesh) penyerapan ion makin besar , karena makin kecil ukuran zeolit luas permukaan kontak makin besar. Pada ukuran 50-60 mesh penyerapan ion mengalami penurunan, karena makin pada kondisi tersebut terjadi penggumpalan , sehingga penyerapan kurang

sempurna. Kondisi yang relatif baik dicapai pada waktu 60 menit, berat zeolit 25 gr, ukuran zeolit 40 mesh, prosentase penurunan ion Ni sebesar 51,1% dan Zn 16,9%. Prosentase penurunannya bisa pada grafik 1 dan 2. di bawah ini.



Gambar 3. Hubungan antara prosen penurunan kadar Ni dan waktu pengadukan pada pelbagai ukuran zeolit (Berat zeolit 25 gram)



Gambar 4. Hubungan antara prosen penurunan kadar Zn dan waktu pengadukan pada pelbagai ukuran zeolit (berat zeolit 25 gram)

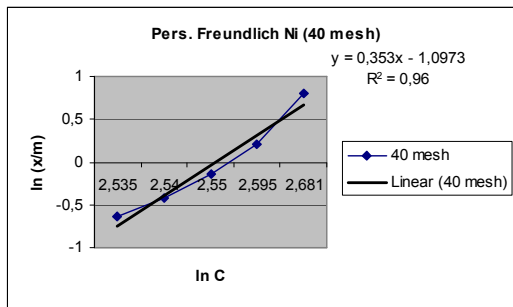
Dari data tabel 1 dan gambar 3 dan 4 terlihat bahwa ukuran zeolit yang paling baik adalah 40 mesh .

Tabel 2. Pengaruh berat zeolit terhadap konsentrasi akhir ion Zn dan Ni dari air limbah (ukuran zeolit 40 mesh, waktu pengadukan 60 menit , konsentrasi awal Zn =113,37 mg/l , Ni = 25,78 mg/l)

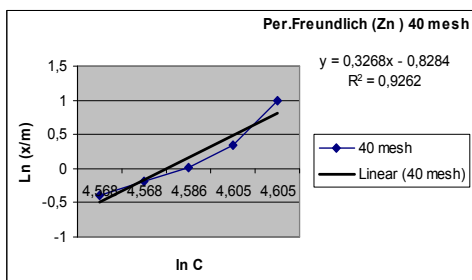
Ukuran (mesh)	Berat (gram)	Konsentrasi ion (mg/l)	
		Zn	Ni
40	5	99,980	14,6
	10	99,380	13,39
	15	98,120	12,81
	20	96,880	12,68
	25	96,350	12,61

Tabel 3. Data persamaan Freundlich untuk adsorpsi Zn dan Ni dengan zeolit ukuran 40 mesh, waktu pengadukan 60 menit

Berat (m)	Zn		Ni	
	ln(x/m)	ln C	ln(x/m)	ln C
5 gr	0,985	4,61	0,805	2,68
10 gr	0,336	4,59	0,214	2,59
15 gr	0,017	4,59	-0,145	2,55
20 gr	-0,193	4,57	-0,423	2,54
25 gr	-0,384	4,57	-0,642	2,54



Gambar 5. Kurva isotherm Freundlich untuk adsorpsi Ni dengan zeolit

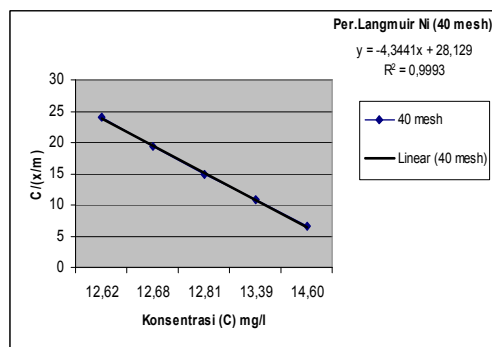


Gambar 6. Kurva isotherm Freundlich untuk adsorpsi Zn dengan zeolit

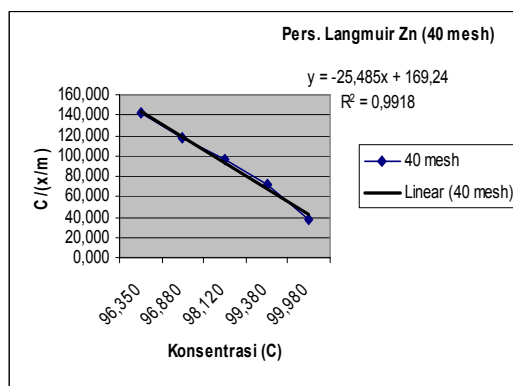
Berdasarkan gambar 5 dan 6 , persamaan Freundlich yang didapat untuk ion Ni : $\ln (x/m) = 0,353 \ln C -1,0973$, $R^2=0,96$, untuk ion Zn : $\ln (x/m) = 0,3268 \ln C - 0,8284$ Dengan koefisien regresi $R^2= 0,9262$

Tabel 4. Data persamaan Langmuir untuk adsorpsi Zn dan Ni dengan zeolit ukuran 40 mesh, waktu pengadukan 60 menit

Berat (m)	Zn		Ni	
	C	$\frac{C_e}{(x / m)}$	C	$\frac{C_e}{(x / m)}$
5 gr	99,98	37,33	14,60	6,53
10 gr	99,38	71,04	13,39	10,81
15 gr	98,12	96,51	12,81	14,81
20 gr	96,88	117,50	12,68	19,36
25 gr	96,35	141,52	12,61	23,97



Gambar 7. Kurva isotherm Langmuir untuk adsorpsi Ni dengan zeolit



Gambar 8. Kurva isotherm Langmuir untuk adsorpsi Zn dengan zeolit

Berdasarkan gambar 7 dan 8 , persamaan Langmuir yang didapat untuk ion Ni :

$$\frac{C_e}{(x / m)} = - 4,3441 C + 28,129 , R^2=0,99, \text{ untuk}$$

$$\text{ion Zn : ion Ni : } \frac{C_e}{(x / m)} = - 25,485 C + 169,24$$

dengan koefisien regresi $R^2=0,99$.

Ternyata persamaan Langmuir lebih cocok digunakan dalam penelitian ini , karena koefisien regresi dari persamaan yang didapat mendekati satu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Zeolit dapat dipergunakan sebagai adsorbent ion logam (Zn dan Ni) dalam limbah electroplating.
2. Makin kecil ukuran zeolit yang dipakai (pada kisaran 20- 40 mesh) prosentase penurunan konsentrasi logam Zn dan Ni air limbah hasil pengolahan makin besar.
3. Makin lama waktu pengadukan makin besar prosentasi penurunan kandungan logam

4. Kondisi yang relative baik dalam penelitian ini adalah ukuran zeolit 40 mesh, berat zeolit 25 gram serta waktu untuk mencapai keseimbangan adalah 60 menit, dan prosentase penurunan Ni adalah 51,1 % dan Zn sebanyak 16,9 %, dimana konsentrasi awal dari Ni = 25,78 mg/l dan Zn 113,37 mg/l

5. Persamaan yang didapat dalam penelitian ini untuk ukuran zeolit 40 mesh adalah sebagai berikut :

Persamaan Freundlich untuk ion logam Ni :
 $\ln (x/m) = 0,353 \ln C - 1,0973$ dengan koefisien regresi (R^2) = 0,96 dan untuk Zn : $\ln (x/m) = 0,3268 \ln C - 0,8284$, dengan $R^2 = 0,9262$.

Sedangkan persamaan Langmuir yang didapatkan adalah untuk ion logam Ni :

$$\frac{C}{(x/m)} = -4,3441 C + 28,129, R^2 = 0,99$$

dan untuk Zn :

$$\frac{C}{(x/m)} = -25,485 C + 169,24, R^2 = 0,99$$

Saran

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa konsentrasi ion logam dari air limbah yang sudah mengalami pengolahan dengan zeolit masih diatas baku mutu air limbah, maka akan lebih baik lagi hasilnya apabila jumlah zeolit yang digunakan lebih besar dari 25 gram agar penyerapan ion logam menjadi lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Saputro, E dkk, 2006, "*Kajian Pemanfaatan carbon aktif sebagai penyerap logam berat Ni, Cr^{3+} dan Pb*", Prosiding, Jurusan Teknik Kimia, UPN "Veteran" Jawa Timur Surabaya.
- Alfiani, N., 2002, *Peningkatan Kadar Adsorpsi Ion logam Cu dalam Adsorben Zeolith, Laporan Penelitian*, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
- Arsyad, M.N., 2001, *Kamus Kimia ; Arti dan Penjelasan Istilah*, pp. 301-302, 332-333, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Metcalf dan Eddy, 1991, "*Wastewater Engineering*, p.279-280, International Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pujiastuti, C., 2002, "*Pemanfaatan limbah Elektroplating sebagai campuran Batubata Merah*", Vol 2, No3, *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik*, LPP
- UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Pujiastuti, C., Yosep, A., dan Dimas, V., 2004, "*Kajian Penurunan logam Zn dan Ni dalam Limbah elektroplating dengan Sekam Padi*", Prosiding, Fakultas Teknik Undip, Semarang
- Pujiastuti, C., Diana, Etty, 2005, "*Kajian Penurunan logam Zn dalam limbah cair Elektroplating dengan Zeolith dan NaEDTA*", Prosiding, FTSP, UPN "Veteran" Jawa Timur Surabaya.
- Pujiastuti, C., Diana, Etty, 2005, "*Kajian Penurunan logam Ni dalam limbah cair Elektroplating dengan Zeolith dan NaEDTA*", Prosiding, Jurusan Teknik Kimia, UPN "Veteran" Jawa Timur Surabaya.
- Robinson, S.M., Arnold, W.D., and Byers, C.H., 1994, "*Mass Transfer Mechanism for Zeolith Ion Exchanger in Wastewater Treatment*", A.I.Ch.E. Jurnal, pp.40,12,2045-2054
- Smith, J.M., 1981, *Introduction to Chemical Engineering*, International Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Treyball, R.E., 1981, "*Mass Transfer Operations*", 3th ed, McGraw-Hill Book Company
- Tsitsishvili, G.V., 1992, "*Natural Zeolite, occurrence, properties and uses*", Pergamon Press, Oxford